



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS

LUIS FELIPE MINIERI PEDROZA

MATRÍCULA: 21416451

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO DE
PACOMETRIA PARA VERIFICAÇÃO DO COBRIMENTO E POSICIONAMENTO
DE BARRAS DE AÇO**

BRASÍLIA, DF

2018

LUIS FELIPE MINIERI PEDROZA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO DE
PACOMETRIA PARA VERIFICAÇÃO DO COBRIMENTO E POSICIONAMENTO
DE BARRAS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UnICEUB/FATECS) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso Superior de Graduação no curso de Engenharia Civil.

Orientador: Jorge Antônio Oliveira, D. Sc.

BRASÍLIA, DF

2018

LUIS FELIPE MINIERI PEDROZA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO DE
PACOMETRIA PARA VERIFICAÇÃO DO COBRIMENTO E POSICIONAMENTO
DE BARRAS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado ao Centro
Universitário de Brasília
(UniCEUB/FATECS) como pré-
requisito para a obtenção de
Certificado de Conclusão de Curso
Superior de Graduação no curso de
Engenharia Civil.

Orientador: Jorge Antônio Oliveira, D.
Sc.

Brasília, 06 de Agosto de 2018.

Banca Examinadora

Prof.. Jorge Antônio da Oliveira, D. Sc.

Orientador

Jocinez Nogueira Lima. Eng. Civil MSc

Avaliador interno

Prof. Jairo Nogueira. Eng. Civil MSc

Avaliador externo

RESUMO

As edificações possuem uma vida útil, e que com o passar dos anos devido a desgastes naturais, efeitos de sobrecarga e ataques do meio ambiente, perdem sua durabilidade. As edificações devem passar por manutenções preventivas e corretivas, para que sua vida útil prolongue ao invés de ser reduzida. Os ensaios não destrutivos são de grande importância para uma análise diagnóstica de como se encontra a estrutura do empreendimento e é altamente recomendado por ser um ensaio que não danifica a estrutura. Alguns dos principais ensaios não destrutivos são: Pacometria, Ultrassonografia, Esclerometria e Termografia. O presente trabalho tem como objetivo analisar a precisão do ensaio tecnológico não destrutivo de pacometria aplicado em seis protótipos de diferentes resistências, com diferentes cobrimentos e diâmetros da armadura. Os moldes executados possuem dimensões de 34cm x 34cm x 8cm. O aparelho utilizado denominado pacômetro localiza a armadura e identifica o seu cobrimento através de ondas eletromagnéticas de baixa frequência. O cobrimento da armadura é de grande relevância principalmente em lugares aonde são classificados com alto grau de agressividade, devido ao contato do meio ambiente com o concreto, por elementos que podem vir a contaminar o concreto, como CO_2 , podendo fazer com que ocorra uma perda do desempenho estrutural de um empreendimento.

Palavras-chave: Ensaios não destrutivos. Concreto. Armadura. Pacometria

ABSTRACT

The buildings have a useful life, and that over the years due to natural wear, effects of overload and environmental attacks, lose their durability. The buildings must undergo preventive and corrective maintenance, so that their useful life extends instead of being reduced. Non-destructive testing is of great importance for a diagnostic analysis of how the structure of the enterprise is found and is highly recommended as an assay that does not damage the structure. Some of the main non-destructive tests are: Pacometry, Ultrasound, Sclerometry and Thermography. The present work has as objective to analyze the precision of the non destructive technological test of pacometry applied in six prototypes of different resistances, with different coverings and diameters of the armature. The executed molds have dimensions of 34cm x 34cm x 8cm. The apparatus used called pacometer locates the armature and identifies its covering by low-frequency electromagnetic waves. Coating of the reinforcement is of great relevance mainly in places where they are classified with a high degree of aggressiveness, due to the contact of the environment with the concrete, by elements that can come to contaminate the concrete, like CO², being able to cause a loss to occur of the structural performance of an enterprise

Keywords: Non-destructive testing. Concrete. Armor. Pacometria

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho	13
Figura 2: Patologia nas etapas de processo de construção	14
Figura 3: Gráfico da “lei dos cinco”	15
Figura 4: Vida útil de projeto.....	16
Figura 5: Principais fatores que condicionam a velocidade de penetração da frente de carbonatação.....	17
Figura 6: Classes de agressividade ambiental	17
Figura 7: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	18
Figura 8: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.....	18
Figura 9: Influência da umidade relativa no grau de carbonatação	19
Figura 10: Métodos de proteção das armaduras	22
Figura 11: Ensaio de pacometria em pilares	24
Figura 12: Correlação entre o pH e as cores dos ensaios de fenolftaleína e timolftaleína	26
Figura 13: Pesagem dos materiais. a) Brita; b) Areia; c) Água; d) Cimento; e) Micro sílica e f) Super plastificante.....	28
Figura 14: Concreto rodando no laboratório do UniCEUB. a) Betoneira e b) Concreto rodando na betoneira	28
Figura 15: Slump test. a) Golpes com a haste de socamento; b) Concreto após a retirada do molde e c) Medindo o resultado do slump test.	29
Figura 16: Correlação dos corpos de prova com o número de camadas e golpes para adensamento.....	30
Figura 17: Moldagem do corpo de prova. a) Armadura inserida no meio do molde e b) Molde coberto pela segunda camada de concreto.....	30
Figura 18: Corpos de prova na câmara úmida	31
Figura 19: Cura dos corpos de prova	31
Figura 20: Ensaio de resistência à compressão	32
Figura 21: Instrução do ensaio de pacometria	33
Figura 22: Pacômetro Wallscanner D-tect profissional (BOSCH)	34
Figura 23: Identificação e marcação da armadura nos molde de concreto	35
Figura 24: Materiais utilizados para quebrar o concreto.....	35
Figura 25: Demolição superficial do concreto para o levantamento do cobrimento real da armadura	36
Figura 26: Levantamento do cobrimento real da armadura.....	36
Figura 27: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação técnica entre os aparelhos usados por Andrade (2017).....	25
Tabela 2: Traço do concreto de 16MPa	37
Tabela 3: Traço do concreto de 26 MPa	37
Tabela 4: Traço do concreto de alto desempenho	38
Tabela 5: Relação água/cimento dos corpos de prova	38
Tabela 6: Resultado do ensaio à compressão nos corpos cilíndricos	40
Tabela 7: Levantamento dos cobrimentos da armadura reais e com o ensaio de pacômetria.....	41
Tabela 8: Análise da defasagem em relação ao corrimento e o.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. OBJETIVO GERAL	10
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. CONCEITO DE PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS	11
2.2. CONCEITO DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL	12
2.3. CARBONATAÇÃO	16
2.3.1.CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	17
2.3.2.TEOR DE UMIDADE RELATIVA	18
2.3.3.TEMPERATURA.....	19
2.3.4.RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	19
2.3.5.CURA DO CONCRETO	20
2.4- PASSIVAÇÃO, DESPASSIVAÇÃO E CORROSÃO DA ARMADURA	20
2.5. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	22
2.6. PACÔMETRIA	23
2.6.1. DESEMPENHO DO ENSAIO DE PACOMETRIA	24
2.7. ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	25
3. METODOLOGIA.....	27
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.CONCLUSÃO.....	42
6. REFENCIAL BIBLIOGRÁFICO	44

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o concreto é um dos materiais mais consumidos do mundo, ficando atrás apenas da água. O Concreto armado é utilizado na maioria das estruturas de sustentação de edificações devido a algumas vantagens, tais como: durabilidade, boa resistência à choques, vibrações e altas temperaturas, facilidade de adaptação da forma, elevada resistência a compressão e tração, e exige mão de obra menos qualificada comparada à um estrutura metálica por exemplo (Metha e Monteiro, 2014).

Toda edificação possui um tempo de vida útil, e de acordo com a ABNT, este tempo seria de 50 anos para edifícios novos (NBR 6118:2014). Porém, o concreto pode obter variações químicas e físicas, devido ao ambiente exposto, ou componentes utilizados na sua fabricação. Além disso, erros na execução de projetos ou na execução da obra, também fará com que a estrutura tenha perda de durabilidade.

Estruturas que não passam por manutenções preventivas e corretivas, tendem cada vez mais a perder o seu desempenho estrutural, e o expondo, a ponto de chegar ao colapso como foi ocorrido recentemente, por exemplo, em um prédio da asa norte, e um viaduto no eixo central, no distrito federal.

As estruturas de concreto armado podem ser avaliadas com relação ao seu desempenho com ensaios tecnológicos destrutivos: tração, compressão, dureza, cisalhamento, e ensaios não destrutivos: esclerometria, pacometria, ultrassonografia, termografia, infravermelho. A aplicação destes ensaios durante a vida útil da edificação é de grande valia, para que se possa fazer o monitoramento do desempenho estrutural. Estes ensaios poderão trazer resultados positivos e negativos, quando negativos, devem ser tomadas ações preventivas e corretivas para prolongar a vida útil da estrutura.

Síndicos e moradores de edifícios devem ficar sempre atentos às anomalias que aparecem em seu edifício, pois quando o problema é relatado no início de sua patologia, a solução é mais fácil e mais barata de ser executada. As primeiras

análises de manifestações patológicas são sempre realizadas a olho nu, e somente após a verificação do problema, é que são realizados os ensaios tecnológicos não destrutivos, para que se possa ter um resultado mais detalhado e conclusivo do problema.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é a análise do cobrimento de moldes de concreto armado através do ensaio não destrutivo de pacometria, para que se possa fazer uma análise do uso do ensaio a fim de avaliar possíveis ataques de carbonatação a estruturas mais expostas ao CO_2 , como subsolos, resultando na corrosão de sua armadura.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o desempenho de um pacômetro em moldes de concreto armado quanto a medição do cobrimento de sua armadura.

Verificar através da destruição da peça moldada qual foi o cobrimento real

Comparar os resultados obtidos do pacômetro com o cobrimento real.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEITO DE PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

De acordo com Souza (1998) o crescimento acelerado da construção civil, em alguns países e épocas, provocou a necessidade de inovações que trouxeram, em si, a aceitação implícita de maiores riscos. Aceitos estes riscos, houve uma progressão natural do desenvolvimento tecnológico, e com isso o aumento de conhecimento sobre as estruturas e seus materiais, através do estudo e análise de erros já acontecidos, em que se houve uma deterioração precoce ou acidentes. Apesar disto, têm sido ainda, constatado estruturas que não estão obtendo desempenho satisfatório, de acordo com a finalidade à qual foi construída.

As causas da deterioração podem ser diversas, desde envelhecimento natural da estrutura ou até mesmo por ações inconsequentes de profissionais que optam por materiais inadequados, por razões econômicas.

Devido a esses erros, a engenharia civil vem inovando cada vez mais na área chamada de patologia das construções, que visam o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Paralelamente à evolução da modelização estrutural, os meios computacionais e as técnicas de análise, os problemas ligados ao desempenho ruim das estruturas, começam a serem melhores entendidos por passarem a ser situados em contexto global, e não mais particulares como se fossem defeitos eventuais. A patologia das estruturas está começando a realizar registros de situações já ocorridas, pois para que se obtenha um maior desenvolvimento, a homogeneização de conceitos e métodos é de suma importância para que problemas sejam mais fáceis detectados, solucionados, ou melhor ainda, evitados.

De acordo com Aranha (1994), os estudos relacionados a patologia das estruturas das de edificações cresceu consideravelmente, devido a agressividade ambiental, que está mudando com o passar dos anos, com erros construtivos, muita das vezes vícios que já vem ocorrendo a algum tempo.

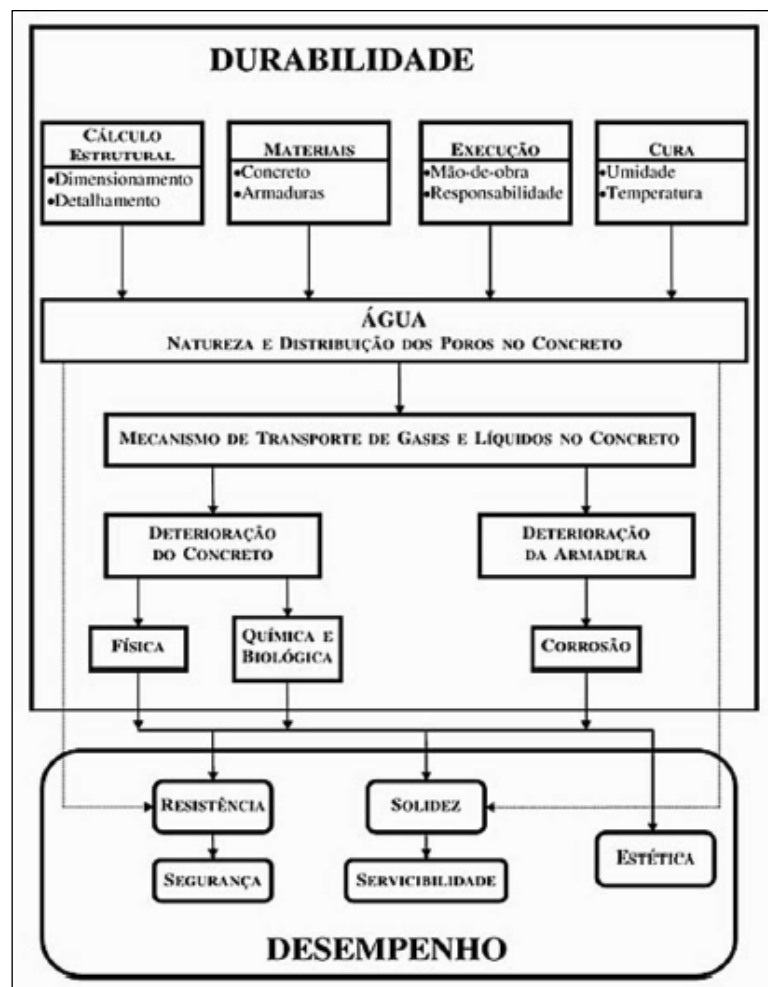
Para Azevedo (2011), as manifestações patológicas podem vir a ocorrer tanto na fase de construção do empreendimento, ou até mesmo anos depois do edifício já estar sendo habitado. A origem dos problemas podem ser diversas, como: um projeto que não foi dimensionado corretamente, uso de materiais inadequados, má execução, falta de manutenção preventiva, ou até mesmo uma mudança executada pelo proprietário sem averiguar o projeto e um engenheiro.

2.2. CONCEITO DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

De acordo com Souza (1998) o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes, e devido à interação com o meio ambiente. Os elementos agressores são chamados de agentes de deterioração, enquanto que as consequências dos processos que comprometem o desempenho da estrutura chamam-se deterioração. Cada material reage de uma forma com os agentes de deterioração a que se são expostos.

Entende-se por vida útil de um material, o período pelo qual suas propriedades não ultrapassem os limites mínimos especificados. É de suma importância compreender a vida útil e a curva de deterioração de cada material ou estrutura, para realizações de orçamentos reais, e realizar um programa de manutenção correto. Já o desempenho de uma estrutura é o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e ele mostrará o resultado do trabalho executado nas fases da obra, como projeto, execução da construção e a sua manutenção. A durabilidade já é o parâmetro que se associa às características de deterioração do material aplicado em uma construção, relacionando-a com a agressividade ambiental, para que se possa definir a vida útil da mesma.

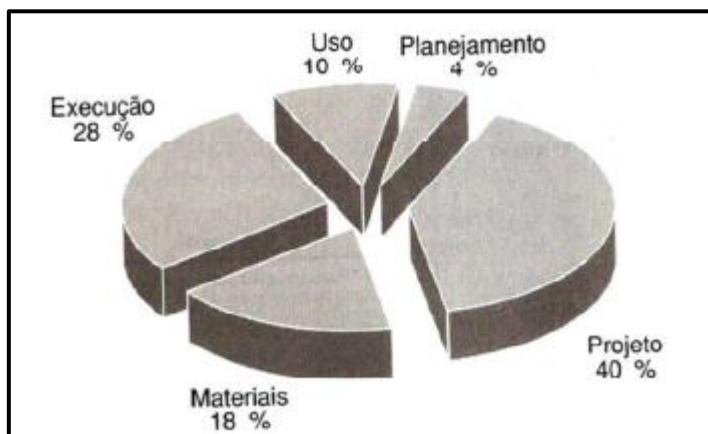
Figura 1: Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho



Fonte: C.E.B. - Boletim nº183 (1989)

Para Helene (1998), as patologias nas edificações, possuem um ponto de partida, e a mesma fez um estudo para estabelecer as fases que mais geram problemas futuros ou presentes de patologia na construção de edificações, e a autora constatou que o maior causa dos problemas vem dos projetos realizados de modo inadequado, de acordo com a figura 2:

Figura 2: Patologia nas etapas de processo de construção

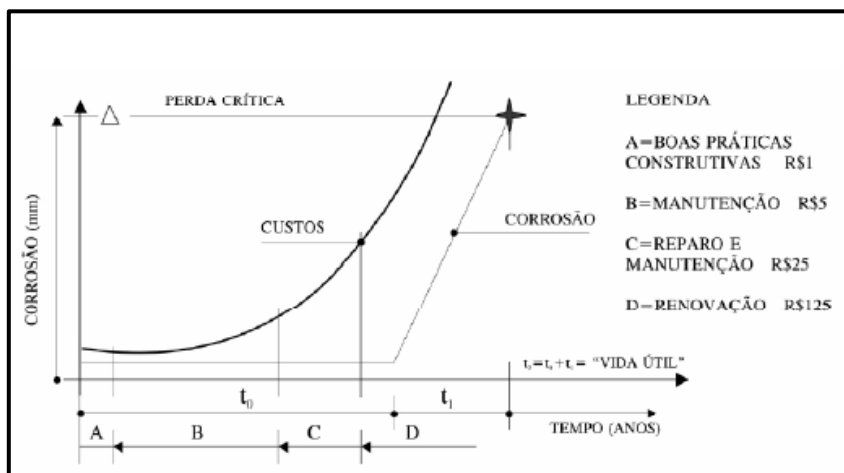


Fonte: Helene (1997)

Todavia quando aborda-se o tema durabilidade, é de grande relevância relatar sobre os custos na recuperação de estruturas de concreto, deteriorados por corrosão da armadura, e Sitter (1983) através de estudos desenvolveu um parâmetro conhecido com “lei dos cinco”, que ressalta a importância da manutenção preventiva, no período inicial da corrosão, em relação às manutenções corretivas executadas no período de propagação.

No exemplo citado na figura 3, podemos ver as etapas da corrosão, ligadas ao custo, e nota-se que quanto mais tarde deixar para resolver o problema, mais caro será a solução. O autor define como valor de custo um, às decisões conferidas no prazo de projeto denominando-o de etapa “A”, como detalhes construtivos de projeto, especificar materiais de qualidade, estipular o cobrimento adequado da armadura, cura do concreto, dentre outros. Caso o processo de corrosão já se encontrar em processo de iniciação, e ser necessário a proteção superficial do concreto, sinalizado como etapa “B”, o custo aumentará cinco vezes o seu valor. Na etapa “C”, a estrutura já está com sinais de corrosão, e o reparo já subiu vinte e cinco vezes o valor do custo inicial. E se ainda assim nenhum reparo foi tomado ainda, e chegar a etapa “D”, aonde o processo de corrosão já está avançado, o valor de custo será cento e vinte e cinco vezes maior do que o valor de custo inicial.

Figura 3: Gráfico da “lei dos cinco”



Fonte: Sitter (1983)

Um elemento de grande relevância na durabilidade do concreto é a água. A quantidade de água no concreto irá contribuir para a densidade, porosidade, compacidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração do mesmo, além de sua resistência mecânica. Contrabalanceando ao aspecto positivo da água, abordamos a agressividade ambiental, ou seja, a capacidade de introdução dos líquidos e gases para o interior do concreto.

As normas e regulamentos já existentes, por exemplo, a NBR 6118:2014, estabelecem critérios para que os engenheiros sigam, baseando-se na agressividade do ambiente, tais agressividades podem vir a ocasionar: corrosão da armadura, por causa dos efeitos da carbonatação e/ou dos cloretos, ação térmica, e agressividade química. Os ambientes de agressividades foram divididos por classes, tais classes indicarão níveis mínimos a serem executados, para que sejam realizadas construções duráveis. Exemplo de fatores que são influenciados pela agressividade: dosagem mínima de cimento, fator água/cimento máximo, resistência mínima do concreto, cobrimento mínimo das barras das armaduras e método de cura.

A norma NBR 15575:2013 associa categorias de tipos de edificações com a vida útil de projeto que devem ser adotados conforme a figura 4:

Figura 4: Vida útil de projeto

Sistema	VUP mínima anos
Estrutura	≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: NBR 15575 (2013)

De acordo com Carmona (2005), a vida útil de estruturas de concreto armado pode ser estimada por quatro métodos: Empiricamente, com base em ensaios acelerados, por modelos numéricos e deterministas, e por modelos probalistas.

2.3. CARBONATAÇÃO

Segundo Possan (2004) a carbonatação é um processo físico-químico, que resulta da interação dos gases ácidos do meio ambiente com os produtos alcalinos do concreto. O concreto, quando endurecido, possui essa alcalinidade devido a presença dos hidróxidos de cálcio (Ca(OH)_2), sódio (NaOH) e Potássio (KOH).

Com o passar do tempo, essa alcalinidade pode ser reduzida pela penetração de CO_2 , que reage com os hidróxidos, principalmente o Ca(OH)_2 . O concreto no seu estado normal (não afetado pelo CO_2), normalmente apresenta o pH igual ou superior a 12,5, e após tais reações, o seu pH é reduzido para um valor igual ou inferior a 9 (Bakker, 1988). A carbonatação se inicia na superfície do concreto, aonde tem o contato com o CO_2 , e vai se difundindo em direção ao seu interior. Esse fenômeno é chamado de frente de carbonatação.

A profundidade e a velocidade da frente de carbonatação dependerão da facilidade do CO_2 difundir-se no interior do concreto. Kasmierczak (1995) cita tais fatores que influenciam, na figura 5:

Figura 5: Principais fatores que condicionam a velocidade de penetração da frente de carbonatação

Fatores Condicionantes		Características Influenciadas
Condições de Exposição	Concentração de CO ₂	Mecanismo físico-químico
		Velocidade de Carbonatação
	Umidade Relativa do Ar	Grau de saturação dos Poros
		Velocidade de Carbonatação
	Temperatura	Velocidade de Carbonatação
Características do Concreto	Composição química do cimento:	
	- Característica do clínquer	Porosidade da pasta carbonatada
	- Teor de adições	Reserva alcalina
	Traço	Porosidade
	Qualidade de execução	
	- Defeitos	Porosidade
	- Cuidados com a cura	Grau de hidratação

Fonte: Kazmierczak (1995)

2.3.1. CONCENTRAÇÃO DE CO₂

A velocidade da carbonatação está diretamente ligada com a concentração de CO₂ presente na atmosfera em torno do concreto. A velocidade aumenta conforme a maior concentração de CO₂.

Sabendo que a concentração pode variar dependendo do ambiente, a NBR 6118:2014 fez uma classificação dos ambientes através de uma relação de agressividade de CO₂. Com base nessas classes, fez outras duas tabelas, uma relacionando a classe do concreto e o fator água\cimento, e a outra relacionando o cobrimento nominal do concreto. Segue as tabelas 6, 7 e 8 tratadas.

Figura 6: Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118 (2014)

Figura 7: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2014)

Figura 8: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

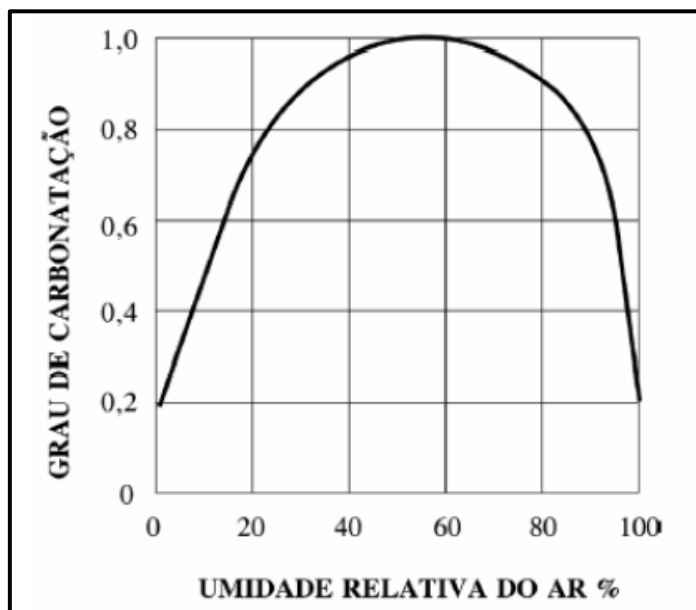
Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118 (2014)

2.3.2. TEOR DE UMIDADE RELATIVA

A umidade relativa do ambiente, também influencia na velocidade de difusão do CO₂ através da quantidade de água nos poros do concreto. Verbeck (1958) demonstra através da figura 9, que os maiores graus de carbonatação ocorrem quando a umidade relativa está entre 50 e 65%

Figura 9: Influência da umidade relativa no grau de carbonatação



Fonte: Verbeck (1950)

2.3.3.TEMPERATURA

Segundo figueiredo (2004) a velocidade da carbonatação não sofre significativas mudanças por conta da temperatura, quando a mesma se encontra entre 20°C e 45°C, porém em temperaturas mais altas, devido as fortes agitações das moléculas, o CO₂ se difunde mais rapidamente.

2.3.4.RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

A relação água/cimento interfere na quantidade e no tamanho dos poros do concreto já com as suas propriedades mecânicas no estágio final. Quanto maior a relação água/cimento, maior será a porosidade e a permeabilidade de um concreto, e quanto maior a porosidade, maior será a facilidade de penetração do CO₂.

2.3.5.CURA DO CONCRETO

Quanto maior o tempo de cura e mais eficiente for o método utilizado, maior será o grau de hidratação do concreto, menor será a porosidade e a permeabilidade, e menor será o grau de carbonatação do concreto. Uma cura realizada de modo incorreto, por um curto período de tempo, pode vir a gerar fissuras na estrutura, que facilitará também a penetração do CO_2 .

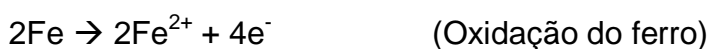
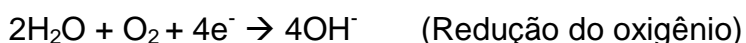
2.4- PASSIVAÇÃO, DESPASSIVAÇÃO E CORROSÃO DA ARMADURA

Os metais são geralmente encontrados na natureza na forma de óxidos, e para a sua extração é necessário um processo de redução com introdução de energia. O processo inverso e natural de redução de energia denominado oxidação, também é conhecido como corrosão (ANDRADE, 1992).

O concreto armado, traz com si várias características positivas, e uma delas é a proteção em que o concreto dá à armadura, sendo uma delas contra agentes externos (física) e a outra, por o concreto ser um material alcalino, ele possui um pH elevado que forma uma película passivadora envolvendo a barra de aço. A película passivadora tem como objetivo impedir o acesso ao oxigênio, umidade e agentes agressivos que atacam o concreto (Figueiredo e Meira, 2013). Porém, a camada passivadora, pode ser despassivada, dependendo do agente agressivo que ataca o concreto. Existem dois tipos de agressores que podem causar despassivação e a corrosão da armadura, o primeiro, é de caráter local, causado em pontos específicos, que é quando íons de cloreto atacam o concreto, enquanto que o segundo é de caráter geral, e é ocasionado pela penetração de gás carbônico no concreto, através de fissuras.

De acordo com Carmona (2005), a corrosão metálica em meio aquoso é um fenômeno de caráter eletroquímico que supõe reações de oxidação e redução, com a formação de uma corrente elétrica através de um metal e uma corrente iônica através do eletrólito em um circuito fechado.

O mecanismo da corrosão em meio aquoso, ocorre devido à presença de água ou umidade relativa elevada ($UR > 60\%$), e necessita de três condições básicas: existência de um eletrólito, pois deve haver água suficiente no interior do concreto para transportar os íons das reações de corrosão, diferença de potencial elétrico entre as regiões da armadura e gás oxigênio para a reação da corrosão dada pelas seguintes equações:



Segundo Cunha e Helene (2001), uma das consequências da corrosão, é a expansão das armaduras, podendo chegar até 600% do seu volume original, causando expansão e fissurações ao concreto. Tal fenômeno gera uma variação na distribuição de tensão sobre a seção e causam um deslocamento angular no sentido do comprimento da barra rígida e uma redução na ligação entre a armadura e o concreto devido à perda de confinamento.

De acordo com Polito (2006), mesmo que a estrutura seja projetada e construída conforme as exigências das normas existem ambientes tão agressivos que ainda assim conseguem atacar a armadura do concreto. Em casos excepcionais como este, devem se utilizar de alguns métodos que fortalecerão a proteção da armadura.

Andrade (1992) divide os métodos de proteção da armadura em dois grupos, os que atuam sobre o aço, e os que atuam sobre o concreto conforme a figura 10:

Figura 10: Métodos de proteção das armaduras

Proteção de armaduras					
Características	Métodos que atuam sobre o aço			Métodos que atuam sobre o concreto	
Tipo de método	Proteção catódica	Cobrimentos metálicos (galvanização)	Pinturas epóxis	Aditivos inibidores de corrosão	Pinturas epóxis, cera, etc
Campo de aplicação	Qualquer	Ataques por água do mar, carbonatação	Qualquer	Ataques por cloretos adicionados durante o amassamento, carbonatação	Qualquer
Vantagens	Único método eficaz em corrosão já iniciada	Facilidade de operação, custo relativo, sem manutenção	Sem manutenção. Eficaz contra corrosão por pite	Sem manutenção, fácil aplicação, custo relativo	Protegem ao mesmo tempo o concreto
Inconvenientes	Pessoal qualificado	Deterioração locais por manipulação e transporte	Custo elevado	Uso de quantidade ótima	Custo relativo
	Controle contínuo	Ineficiente na proteção contra a corrosão por pite causada por cloretos	Colocação na obra	Regiões com diferentes suscetibilidade a corrosão	Necessidade de manutenção
			Baixa aderência entre o produto e a barra de aço		Retenção de água nos poros, favorece a

Fonte: Andrade (1992)

2.5. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

De acordo com Evangelista (2002), os ensaios tecnológicos não destrutivos, conhecidos como END, são aqueles que não causam danos no local a ser ensaiado, ou causa danos muito pequenos, desde que não haja perda na resistência do elemento,

Tais ensaios realizados em estruturas novas são empregados para monitoramento da evolução da resistência, ou avaliar a qualidade do concreto, enquanto que em estruturas antigas, são para avaliar a sua integridade e capacidade de resistir às solicitações. As propriedades do concreto que podem ser avaliadas pela END são: massa específica, módulo de elasticidade e resistência, além de poder analisar a dureza superficial, absorção permeabilidade, condições de umidade, localização das armaduras, e existência de vazios e fissurações internas.

2.6. PACÔMETRIA

O ensaio de pacometria consiste no uso de um aparelho chamado pacômetro, que através de ondas eletromagnéticas de baixa frequência, localiza barras de aço no interior do concreto, para estimar a sua posição em relação à superfície da sonda. Além da posição das barras, tais aparelhos, que são portáteis, podem determinar a espessura do cobrimento, e até mesmo o diâmetro da própria barra. Este aparelho baseia-se no princípio em que a presença do aço afeta o campo magnético de um eletro-ímã.

Para utilizar o aparelho, deve-se posicioná-lo sobre a superfície da estrutura que deseja identificar a barra, e movimenta-lo no sentido perpendicular aonde às barras se encontra, fazendo o caminho de ida e volta lentamente, sem remover o aparelho da superfície da estrutura até que termine o procedimento. Quando o aparelho detectar uma barra de aço, ele emitirá um alerta sonoro, e também visual, fazendo uma leitura no visor digital do aparelho, correspondente ao eixo da armadura.

O pacômetro, pode não trazer resultados satisfatórios quando a estrutura contém uma grande quantidade de armadura, que devido a proximidade das barras, o aparelho não consegue fazer a leitura corretamente por causa da interferência magnética da barra de aço próxima a outra. Além disso, o aparelho também não detecta barra sobrepostas.

Além do ensaio de pacometria ser de grande utilidade para detecção de possíveis patologias por causa do cobrimento da armadura, ele auxilia outros aparelhos não destrutivos a fazer a suas medições, em uma espécie de combinações de ensaios, por exemplo, com os ensaios de ultrassonografia e esclerometria, pois estes aparelhos caso sejam utilizados aonde há barras de aço, trará resultados falsos, podendo gerar relatórios equivocados.

Figura 11: Ensaio de pacometria em pilares



Fonte: Autor (2018)

2.6.1. DESEMPENHO DO ENSAIO DE PACOMETRIA

De acordo com Andrade (2017), os ensaios de pacometria são bem eficientes para identificar a localização da armadura, porém o ensaio não apresenta valores tão precisos quanto ao seu cobrimento e ao diâmetro do aço. Andrade (2017) utilizou três pacômetros de marcas diferentes em seu estudo, o aparelho da Hilti (PS 50), da Proceq (PROFOSCOPE) e da Controls, e em seu protótipo foi analisado o cobrimento de armaduras com diâmetros de 8, 10, 12,5 e 16mm,

O pacômetro da Hilti apresentou resultados imprecisos. Teve dificuldades para detectar as barras, e quando as detectou, não mostrou um resultado satisfatório. As armaduras com diâmetro de 8mm e 10mm não foram detectadas. O cobrimento e o diâmetro das barras de aço também obtiveram resultados insatisfatórios.

O pacômetro da Proceq detectou corretamente a armadura, com exceção das barras com diâmetro de 8mm que não foram detectadas. O cobrimento detectado chegou próximo da realidade, mas o diâmetro não trouxe resultados satisfatórios.

Devido à inexperiência do usuário, e por ser um aparelho mais difícil de manusear, Andrade (2017) não detectou o cobrimento e o diâmetro da armadura, porém quanto a localização das barras de aço, também obteve um resultado eficiente.

Na tabela 1 encontram-se algumas comparações técnicas dos aparelhos obtidas pelo próprio site do fornecedor.

Tabela 1: Comparação técnica entre os aparelhos usados por Andrade (2017)

Comparação Técnica			
Descrição	OS 50 (HILTI)	Profoscope (PROCEQ)	Controls
Materiais detectáveis	Detecção do metal ferroso e não ferroso, cabos elétricos, tubos plásticos, madeira e espaços ocultos	Metálicos	Metálicos
Informa a localização do aço	✓	✓	✓
Informa o cobrimento do aço	✓	✓	✓
Informa o diâmetro do aço	✓	✓	✓
Profundidade máx. de detecção do aço	150 mm	185 mm	-
Precisão	± 10 mm	± 4 mm	-

Fonte: Autor (2018)

2.7. ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

Para averiguar se uma determinada área está ou não carbonatada, o método mais recomendado é a utilização de fenolftaleína ou timolftaleína, para indicar o pH da estrutura. As áreas a serem escolhidas, devem ser as que estejam mais expostas ao ambiente, e que sejam mais propensas a carbonatação. O ensaio a ser executado, é de caráter semi-destrutivo, já que deve ser executada uma abertura com uma extensão maior do que a do recobrimento da armadura. A retirada da amostra deve ser através da sua quebra, não podendo molhar ou cerrar a estrutura,

para que não venha a comprometer o ensaio. Após a realização da retirada da amostra, deve-se aplicar com um auxílio de um borrifador, a fenolftaleína ou timolftaleína. Feito isso, analisar a coloração na estrutura, que indicara se a estrutura está carbonatada, e a profundidade da carbonatação, caso esteja. Após alguns minutos que a solução foi aplicada, a estrutura assumirá as cores rosa ou azul respectivamente, se fora utilizada a fenolftaleína ou timolftaleína, caso o pH esteja superior a nove. E nos locais aonde na estrutura foi aplicado as soluções permanecerem incolor, está parte da estrutura está carbonatada.

Figura 12: Correlação entre o pH e as cores dos ensaios de fenolftaleína e timolftaleína

	Valores de pH													
Timolftaleína														
Fenolftaleína														
	≤14	≤13	≤12	≤11	≤10	≤9	≤8	≤7	≤6	≤5	≤4	≤3	≤2	≤1

Fonte: Granato (2002)

3. METODOLOGIA

Para a realização do trabalho de conclusão de curso de engenharia civil do UniCEUB, foram realizados moldes de concreto armado no laboratório do Uniceub, a fim de determinar e verificar o cobrimento e o posicionamento das armaduras de aço através do ensaio não destrutivo de pacometria.

Primeiramente, foram realizados seis moldes de concreto armado, em uma forma de madeirite, de dimensões de (34 cm x 34 cm x 7,5 cm), composto por quatro barras de aço com diâmetros diferentes intercaladas, duas com o diâmetro 6.3 mm, e duas com o diâmetro de 8.0 mm. Seguindo a norma NBR 5738:2015, foram moldados doze corpos de prova cilindros de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de concreto, para posteriormente determinar a resistência à compressão. Para a análise, com as informações fornecidas pelo o orientador, e o auxílio dos funcionários do laboratório, foram realizados três traços de concreto, 16 MPa, 26 MPa e 52 Mpa, e para cada traço quatro corpos de prova cilindros e dois moldes de concreto armado.

Conforme a norma NBR 5738:2015 foi aplicada óleo mineral nas faces internas dos moldes dos corpos de prova para que se possa remover o concreto do molde com mais facilidade na hora de desformá-lo. Com o auxílio da balança de precisão, foram pesados os agregados, a água, o cimento, e os aditivos, e em seguida foram colocados dentro da betoneira, para que se misturem e se transformem em concreto.

Figura 13: Pesagem dos materiais. a) Brita; b) Areia; c) Água; d) Cimento; e) Micro sílica e f) Super plastificante



Fonte: Autor (2018)

Figura 14: Concreto rodando no laboratório do UniCEUB. a) Betoneira e b) Concreto rodando na betoneira



Fonte: Autor (2018)

Antes de colocar o concreto nos moldes, de acordo com a norma NBR NM 67 – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone, foi realizado o slump test. Para executar o slump test, o molde e a placa de base foram umedecidos previamente. Feito isso, o molde foi colocado sobre a base, e os pés posicionados sobre as aletas. Após esse procedimento, o molde foi preenchido com o concreto em três camadas, e em cada camada golpeado com a haste de socamento vinte e cinco vezes. Após o molde estar totalmente preenchido, o molde foi retirado cuidadosamente na direção vertical. Após a retirada do molde, foi determinada a diferença de altura entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, esse valor registrado é o resultado do slump test.

Figura 15: Slump test. a) Golpes com a haste de socamento; b) Concreto após a retirada do molde e c) Medindo o resultado do slump test.



Fonte: Autor (2018)

Após ter realizado o slump test, e ver que o resultado foi satisfatório, o concreto foi colocado nos moldes, em duas camadas, e aplicado doze golpes em cada camada, de acordo com a figura 12 da NBR 5738:2015, e no molde de madeirite, foram colocadas as barras de aço no seu interior, de acordo com a foto 5.

Figura 16: Correlação dos corpos de prova com o número de camadas e golpes para adensamento

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

Fonte: NBR 5738 (2015)

Figura 17: Moldagem do corpo de prova. a) Armadura inserida no meio do molde e b) Molde coberto pela segunda camada de concreto.



Fonte: Autor (2018)

Após todas as formas estarem preenchidas, elas foram colocadas dentro de uma câmara úmida, no próprio laboratório do UniCEUB, durante quarenta e oito horas, para que o concreto endurecesse, e não fosse afetado pelo meio externo, perdendo umidade, sendo contaminado ou sofrendo algum tipo de vibração.

Figura 18: Corpos de prova na câmara úmida



Fonte: Autor (2018)

Após terem passado os dois dias, foram retiradas as formas dos moldes do concreto, os moldes foram identificados com um giz que não apaga em contato com água, e em seguida, os moldes foram colocados em um tanque de água, e lá permaneceu durante vinte e um dias, para que fosse realizada a cura saturada do concreto, e este não viesse a obter nenhuma fissura, ou perder a sua umidade.

Figura 19: Cura dos corpos de prova



Fonte: Autor (2018)

Depois de terem passado os vinte e um dias, os corpos de prova foram retirados do tanque, e colocados novamente na câmara úmida do laboratório por mais cinco dias. Totalizando-se vinte e oito dias desde que o concreto havia sido realizado, foi realizado o ensaio de compressão nos doze corpos de prova cilíndricos, seguindo a norma NBR 5739:2007, para que se fossem calculados a resistência à compressão, e pudéssemos definir o F_{ck} dos traços gerados no início do experimento. Foi escolhido realizar o ensaio com vinte e oito dias, pois após esse período o concreto já atingiu praticamente a sua resistência máxima.

Figura 20: Ensaio de resistência à compressão

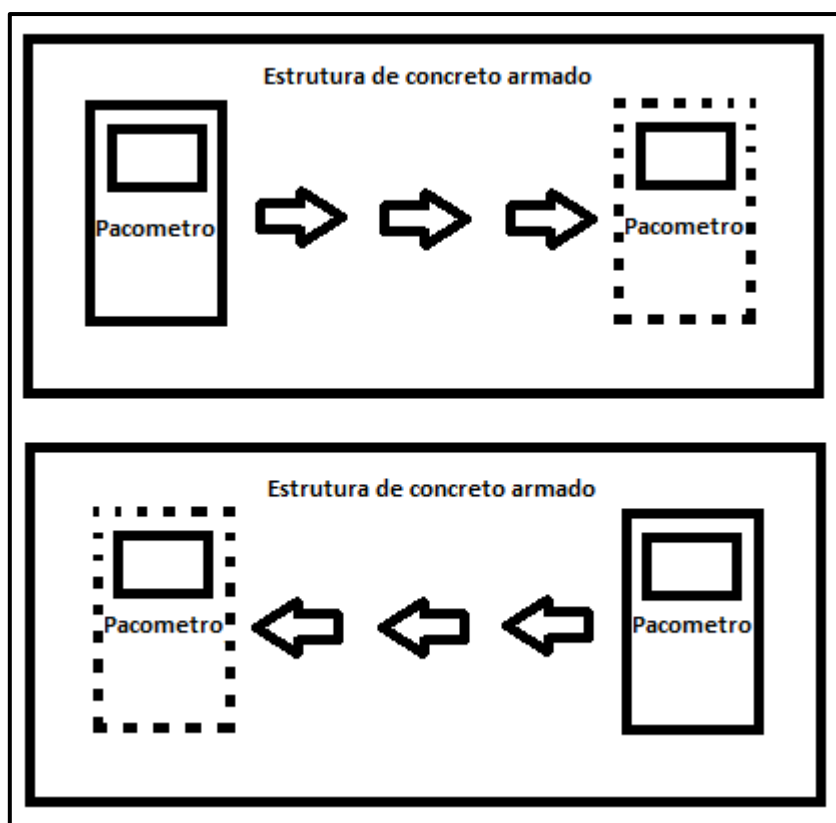


Fonte: Autor (2018)

Após definido a resistência à compressão do concreto, foi realizado o ensaio de pacometria. Por não haver normatização nacional, os procedimentos aplicados ao ensaio de pacometria seguiram as orientações das normas internacionais BS 1881 part 204:1988 e a ACI 228:2r-21:2004. O pacômetro utilizado, foi o Wallscanner D-tect 150 professional da BOSCH.

Para a realização do ensaio, a superfície do molde deve estar lisa, e o aparelho deve ser passado continuamente, sem removê-lo da estrutura até o fim do procedimento. O pacômetro foi passado lentamente pela superfície do molde de concreto armado no sentido horizontal, e para fazer com que o equipamento execute a leitura, deve-se executar o movimento contrário, voltando para o início conforme a figura 13. Quando estiver voltando com o aparelho, o pacômetro emitirá um alerta sonoro e visual (luz vermelha) no local em que for localizada uma barra de aço. No visor, ele indicará o cobrimento do aço e a posição do aço, e em alguns aparelhos, ele mostrará também o diâmetro da barra. Nesse caso específico o pacômetro utilizado nos mostra apenas o cobrimento e a posição da armadura.

Figura 21: Instrução do ensaio de pacometria



Fonte: Autor (2018)

Na foto 9, pode se notar o sinal luminoso indicando que foi detectada uma barra de aço. A barra de aço é identificada por esses pontos pretos, e a barra estará localizada no eixo do aparelho, quando o círculo estiver posicionada sobre a linha central. Logo acima, aonde mostra o valor de 1.4cm, é a identificação do cobrimento da armadura.

Figura 22: Pacômetro Wallscanner D-TECT Professional (BOSCH)



Fonte: Autor (2018)

Na foto 10, pode se notar, no canto superior esquerdo, a identificação do molde de concreto, e logo ao lado, pode se notar marcações no concreto identificando a posição da armadura localizada com o pacômetro.

Figura 23: Identificação e marcação da armadura nos molde de concreto



Fonte: Autor (2018)

Após o levantamento do cobrimento da armadura com o pacômetro nos seis moldes, foi removida uma sessão do concreto em uma de suas faces laterais até que a armadura estivesse aparente. Para efetuar a remoção, foi utilizada uma marreta e uma ponteira de ferro.

Figura 24: Materiais utilizados para quebrar o concreto



Fonte: Autor (2018)

Com a armadura já exposta, foi possível executar o levantamento real dos cobrimentos das armaduras para que posteriormente se fizesse a análise e comparasse com o valor obtido com o pacômetro.

Figura 25: Demolição superficial do concreto para o levantamento do cobrimento real da armadura



Fonte: Autor (2018)

Figura 26: Levantamento do cobrimento real da armadura



Fonte: Autor (2018)

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia descrita anteriormente, seguindo as normas descritas, serão apresentados e analisados os resultados obtidos. Primeiramente serão apresentados, a quantidade de cada material que foram utilizados para a realização do concreto, definido então o seu traço final, com o valor de cada slump obtido pelo slump test. Lembrando que a quantidade de cada material, foi definida com o auxílio do orientador, e os ajustes realizados in loco com o auxílio do técnico do laboratório.

Tabela 2: Traço do concreto de 16MPa

Traço do concreto de 16 MPa		
Material utilizado	Quantidade utilizada (Kg)	Traço
Cimento (Kg)	3,900	1,00
Areia (Kg)	9,373	2,40
Brita (Kg)	11,550	2,96
Água (Kg)	2,842	0,73

Fonte: Autor (2018)

Tabela 3: Traço do concreto de 26 MPa

Traço do concreto de 26 MPa		
Material utilizado	Quantidade utilizada (Kg)	Traço
Cimento (Kg)	12,570	1,00
Areia (Kg)	20,570	1,64
Brita (Kg)	31,818	2,53
Água (Kg)	6,785	0,54

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4: Traço do concreto de alto desempenho

Traço do concreto de 52 MPa (alto desempenho)		
Material utilizado	Quantidade utilizada (Kg)	Traço
Cimento (Kg)	15,000	1,00
Areia (Kg)	18,000	1,20
Brita (Kg)	27,500	1,83
Água (Kg)	5,425	0,36
Microsilica(15% cim)	2,750	0,18
Superplastificante(2,5%)	0,500	0,03

Fonte: Autor (2018)

Os resultados obtidos no slump test, foram respectivamente, 9,5 cm, 9,5 cm e 18 cm. A quantidade de materiais foi sendo adaptadas, para que no final chegassem a um slump de 10 (± 2), portanto os resultados obtidos foram satisfatórios. A discrepância do resultado de alto desempenho deve-se aos aditivos, e o slump esperado era de 16 (± 2) e, portanto também foi satisfatório.

Para o ensaio de pacometria proposto nesse trabalho, o fator água/cimento não é de relevância, porém, ao analisar a tabela 4 com a figura 14 (NBR 6118, 2014), o primeiro traço não pode ser utilizado em estruturas de concreto armado ou protendido, já que não se atingiu nem os 20 MPa, e a relação água/cimento está muito elevada. O segundo traço já pode ser utilizado em estruturas de concreto armado com classe de agressividade I e II e estruturas de concreto protendida com classe de agressividade I. Enquanto que o traço de alto desempenho pode ser utilizado em qualquer uma das classes de agressividade e em qualquer tipo de estrutura.

Tabela 5: Relação água/cimento dos corpos de prova

Relação a/c dos corpos de prova	
Concreto (MPa)	a/c
16	0,73
26	0,54
52	0,36

Fonte: Autor (2018)

Figura 27: Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2014)

Após os vinte e oito dias de realização do concreto foram executados o ensaio a compressão nos doze corpos de prova cilíndricos, para que fosse determinada a resistência dos traços elaborados. O aparelho utilizado, fornece o resultado em KN, e para chegar a resistência em MPa, primeiro o resultado obtido foi dividido pela área do cilindro, que possui um diâmetro de 10 cm, feito isso, obtivemos o valor em KN/cm². Para se chegar ao valor em MPa, multiplica-se o valor obtido por 10. Segue abaixo a fórmula passo a passo para se chegar aos valores da resistência em MPa. Para a demonstração do cálculo foi utilizado o valor obtido do corpo de prova 1.

$$\text{Área do cilindro} = \pi r^2 = \pi \cdot 5^2 \cong 78,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistência obtida pelo ensaio do CP1} = 121,67 \text{ KN}$$

$$\text{Resistência (dividida pela área)} \cong 1,55 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Conversão de } \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \text{ para Mpa (multiplicar por 10)} \cong 15,49 \text{ MPa}$$

O processo descrito acima foi repetido para os doze corpos de prova, e no final calcula-se uma média dos resultados para cada traço, para que se defina a resistência do traço. Segue a tabela com os resultados obtidos:

Tabela 6: Resultado do ensaio à compressão nos corpos cilíndricos

Tabela de resultado ao ensaio à compressão					
Traço	Corpe de prova	Resistência (KN)	Resistência (KN/cm ²)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
1	1	121,67	1,55	15,49	16
1	2	123,29	1,57	15,70	
1	3	116,53	1,48	14,84	
1	4	130,17	1,66	16,57	
2	5	212,88	2,71	27,10	26
2	6	207,31	2,64	26,40	
2	7	204,52	2,60	26,04	
2	8	204,56	2,60	26,05	
3	9	330,93	4,21	42,14	52
3	10	480,99	6,12	61,24	
3	11	412,42	5,25	52,51	
3	12	395,38	5,03	50,34	
Diâmetro dos CP's (cm)					10
Área dos CP's (cm ²)					78,54

Fonte: Autor (2018)

Para a realização do ensaio de pacometria, foi utilizado o pacômetro da BOSCH (Wallscanner D-tect 150 professional), que detecta tubos plásticos, metais, subestruturas de madeira e cabos energizados. No caso das armaduras, o aparelho identifica a localização da armadura e o seu cobrimento, porém não identifica o diâmetro da barra de aço. De acordo com o fornecedor, o aparelho detecta o aço com a profundidade de até 150mm com uma precisão de 5mm. A tabela 7 exhibe os resultados obtidos do ensaio de pacometria, o cobrimento real, o diâmetro das barras, a distância entre as barras e traz uma comparação do ensaio de pacometria com o cobrimento real.

Tabela 7: Levantamento dos cobrimentos da armadura reais e com o ensaio de pacometria

Levantamento dos cobrimentos das armaduras com o pacômetro e o levantamento real						
Identificação do corpo de prova	Barra	ϕ (mm)	Distância entre as barras (cm)	Cobrimento medido pelo pacômetro (cm)	Cobrimento real (cm)	Defasagem (cm)
1 (16MPa)	1ª	8,0	$1^a \leftrightarrow 2^a = 8$	1,6	2,4	0,8
	2ª	6,3	$2^a \leftrightarrow 3^a = 6$	1,4	2,1	0,7
	3ª	8,0	$3^a \leftrightarrow 4^a = 8$	1,3	1,9	0,6
	4ª	6,3		1,1	2,2	1,1
2 (16MPa)	1ª	8,0	$1^a \leftrightarrow 2^a = 7$	0,9	1,9	1,0
	2ª	6,3	$2^a \leftrightarrow 3^a = 5$	0,5	1,9	1,4
	3ª	8,0	$3^a \leftrightarrow 4^a = 6$	0,9	2,2	1,3
	4ª	6,3		1,1	2,2	1,1
3 (26MPa)	1ª	8,0	$1^a \leftrightarrow 2^a = 6$	1,5	2,5	1,0
	2ª	6,3	$2^a \leftrightarrow 3^a = 6$	3,8	3,0	-0,8
	3ª	8,0	$3^a \leftrightarrow 4^a = 7$	2,0	2,6	0,6
	4ª	6,3		0,9	2,2	1,3
4 (26MPa)	1ª	6,3	$1^a \leftrightarrow 2^a = 6$	1,0	2,1	1,1
	2ª	8,0	$2^a \leftrightarrow 3^a = 7$	2,5	2,1	-0,4
	3ª	6,3	$3^a \leftrightarrow 4^a = 5$	2,5	2,8	0,3
	4ª	8,0		2,7	2,9	0,2
5 (52MPa)	1ª	6,3	$1^a \leftrightarrow 2^a = 6$	0,9	1,0	0,1
	2ª	8,0	$2^a \leftrightarrow 3^a = 5$	0,8	1,1	0,3
	3ª	6,3	$3^a \leftrightarrow 4^a = 7$	0,1	0,8	0,7
	4ª	8,0		0,6	2,3	1,7
6 (52MPa)	1ª	8,0	$1^a \leftrightarrow 2^a = 5$	3,2	3,7	0,5
	2ª	6,3	$2^a \leftrightarrow 3^a = 7$	4,3	6,0	1,7
	3ª	8,0	$3^a \leftrightarrow 4^a = 9$	3,5	5,5	2,0
	4ª	6,3		3,3	5,2	1,9

Fonte: Autor (2018)

A tabela 8 traz um estudo da defasagem em relação ao cobrimento e o diâmetro das barras.

Tabela 8: Análise da defasagem em relação ao cobrimento e o diâmetro das barras de aço

Análise da defasagem em relação ao cobrimento e o diâmetro da armadura			
Cobrimento real	Descrição	Qtde	Defasegem (cm)
Geral	Média Geral	24	0,9417
	Média Geral $\phi 6,3$	12	1,0167
	Média Geral $\phi 8,0$	12	0,8667
0 \leftrightarrow 0,9	Média	1	0,7000
	Média $\phi 6,3$	1	0,7000
1 \leftrightarrow 1,9	Média	5	0,6800
	Média $\phi 6,3$	2	0,7500
	Média $\phi 8,0$	3	0,6333
2 \leftrightarrow 2,9	Média	13	0,8923
	Média $\phi 6,3$	6	0,9333
	Média $\phi 8,0$	7	0,8571
3 \leftrightarrow 3,9	Média	2	0,6500
	Média $\phi 6,3$	1	0,8000
	Média $\phi 8,0$	1	0,5000
5 \leftrightarrow 6	Média	3	1,8667
	Média $\phi 6,3$	2	1,8000
	Média $\phi 8,0$	1	2,0000
Geral sem o corpo de prova 6	Média Geral	20	0,8250
	Média Geral $\phi 6,3$	10	0,8600
	Média Geral $\phi 8,0$	10	0,7900

Fonte: Autor (2018)

5.CONCLUSÃO

Através da tabela 8, pode se concluir que o diâmetro da armadura interfere diretamente na precisão do cobrimento já que a defasagem entre o cobrimento real e o ensaio foi maior com as armaduras de diâmetro de 6,3mm em comparação com as de 8,0mm. Pode se concluir também que conforme o cobrimento da armadura aumenta a defasagem também aumenta. Pode se notar, por exemplo, quando a leitura do pacômetro foi realizada nas barras com cobrimento maior do que 5cm, a defasagem aumentou consideravelmente, o que mostra a dificuldade do aparelho em realizar a leitura corretamente com cobrimentos acima de 4cm. Pode se notar

também pelo o exemplo citado à cima, que quando foi retirado os resultados obtidos no corpo de prova 6, a média da defasagem diminuiu. Quanto à resistência do concreto, não há interferências na precisão do ensaio.

Na execução do ensaio, obteve-se dificuldade em localizar algumas barras de aço, o que fez com que o ensaio demorasse mais do que o esperado a ser executado. Porém mesmo o aparelho tendo dificuldades em localizar as barras, ele localizou todas, e com uma boa precisão.

Para a realização da leitura do aparelho recomenda-se que as barras de aço devem estar a uma distância de pelo menos 4 cm, e a menor distância entre as barras no experimento foi de 5 cm, portanto a proximidade da armadura não interferiu na leitura do aparelho. O que pode ter interferido na precisão do aparelho, é que o mesmo talvez não esteja calibrado, e, além disso, foi utilizadas barras de aço com um diâmetro pequeno o que dificulta mais ainda a leitura do aparelho.

Com os resultados obtidos, pode se concluir que o pacômetro utilizado é muito preciso, portanto recomendado, para se detectar a posição da armadura. Porém quanto ao cobrimento o aparelho não foi tão preciso, obtendo resultados com defasagem média de 0,94 cm, e para cobrimentos de até 4 cm uma média de 0,82 cm. Ou seja, o pacômetro quando usado com uma combinação de ensaios, aonde o outro ensaio necessita saber aonde se encontra a armadura, por exemplo, o ensaio de esclerometria e ultrassonografia que não devem ser executados aonde possuem barras de aço, é recomendado, já que mostrou ser um ensaio preciso quanto à localização da armadura. Para estudos aonde necessitam saber o cobrimento da armadura, o pacômetro pode ser utilizado para se ter uma noção do valor médio do cobrimento, mas caso o profissional deseja saber o valor exato, é indicado que o mesmo faça uma extração do concreto até a armadura.

Andrade (2017), que realizou o ensaio com outros três tipos de pacômetros diferentes, também diz que o ensaio é eficiente na localização da armadura e impreciso quanto ao cobrimento. Andrade (2017) realizou ensaios com pacômetros que além da posição e do cobrimento da armadura, identificam o diâmetro da barra, e notou que o ensaio também é impreciso quanto a isso.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 228.2R-21: Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures, 2013.

ANDRADE, Gabriela Mendes Romero de. Avaliação do desempenho da precisão de diferentes equipamentos para realização dos ensaios não destrutivos de pacometria. Trabalho de conclusão de curso. Centro universitário de Brasília UniCEUB, Brasília: 2017, 45 p.

ANDRADE, M. C. P. Manual para diagnostico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. 1.ed. PINI. São Paulo, 1992

ARANHA, P.M.S. Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.

AZEVEDO, Minos Trocoli de. Patologia das Estruturas de Concreto: In: Isaia, g. c. (ed.) concreto: Ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2. 1095-1128 p.

BAKKER, R.F.M. Initiation period. In.: SCHIESSL, P. (Ed.) Corrosion of Steel in Concrete: report of technical committee 60CSC RILEM. London: Chapman & Hall Ltda, 1988, p.22-55.

BRITISH STANDARD. BS 1881-204: Testing concrete – Recommendations on the use of electromagnetic covermeters, 1988.

CARMONA, Thomas G. Modelos de Previsão da Despassivação das Armaduras em Estruturas de Concreto Sujeitas à Carbonatação. São Paulo, Universidade de São Paulo PCC.USO, 2005 (Dissertação Mestrado).

CUNHA, A.C.Q.; HELENE, P.R.L. Despassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação. São Paulo, 2001. 100p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

EVANGELISTA, ANA CATARINA JORGE Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaaios Não Destrutivos [Rio de Janeiro] 2002 XX, 219 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2002) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

FIGUEIREDO, C. R. Estudo da carbonatação em estruturas de concreto armado em Brasília: avaliação de pilares. 2004. Tese (doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 222p.

FIGUEIREDO, E.P.; MEIRA, G. Corrosão das armaduras das estruturas de concreto. Boletim técnico 06, México, 2013.

GRANATO, J. E. Patologia das Construções. 2002

HELENE, P. R. L. Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES ANTAC, 1997. p. 31-42.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, 1997. p. 1-30.

HELENE, P. R. L. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 1998.

KAZMIERCZAK, C.S. Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre as estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação. 1995. Tese (doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 168 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. “Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais” – 2a Edição – Ed. Pini, São Paulo, 2014.

POLITO, G. Corrosão em estruturas de concreto armado: Causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2006, 191 p.

POSSAN, Edna. Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado. 2004. TCC – Programa de pós graduação da Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2004.

SITTER, W. R. Costs for Service Life Optmization the “Law of Fives”. Comitê Euro International de Beton – CEB. Boletim Técnico. Copenhagen, Denmark, n.152, p.131 – 134, 1983.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1. Ed. São Paulo: Pini, 1998.

VERBECK, G. Carbonation of Hydrated Portland Cement. ASTM. v.205, 1958. P.17-36.